



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**KONSTRUKCE KAMEROVÉHO POJEZDU PRO NATÁČENÍ
ČASOSBĚRNÝCH ZÁBĚRŮ SE ZAMĚŘENÍM NA OBJEKT**

DESIGN OF A CAMERA SLIDER FOR SHOOTING TIME-LAPSE SHOTS WITH A FOCUS ON THE OBJECT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michael Koupil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Koutecký, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Michael Koupil
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Tomáš Koutecký, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce kamerového pojezdu pro natáčení časosběrných záběrů se zaměřením na objekt

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Časosběrné kamerové záběry mohou být ve výsledku velmi působivé a používají se v současné době v amatérské i profesionální kinematografii stále častěji. K tomuto účelu se používají buď jednoduché manuální kamerové pojezdy nebo automatické, které umožňují nastavení času přejezdu, v některých případech i otáčení kamery v průběhu pohybu. Umožnit přesné zaměření na objekt by bylo značným přínosem pro takovéto zařízení.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem práce je návrh a konstrukce pojezdu umožňujícího pohyb fotoaparátu s hmotností do 3000 g na vzdálenost minimálně 1 m s možností definovat rychlost pohybu a otáčení kamery při pohybu se zaměřením na objekt v definované vzdálenosti. Celé zařízení bude řízeno z platformy Arduino.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- popsat současné konstrukce kamerových sliderů,
- definovat vhodné parametry pro konstrukční řešení,
- navrhnout varianty konstrukčních uspořádání,
- zpracovat konstrukci a výkresovou dokumentaci vybrané varianty včetně řídicího softwaru,
- realizovat a otestovat funkční zařízení.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

MATTHEWS, Scott a Christopher M. SZCZUR. Modular motorized slider system. 2017. United States. US10337667B2. Uděleno 2019-07-02. Zapsáno 2017-07-11.

WOOD, Dennis. Camera slider system. 2009. United States. US7891888B2. Uděleno 2011-02-22. Zapsáno 2009-06-15.

SNOKE, Lance Alan. Collapsible curved support track system for camera slider dolly. 2017. United States. US10054257B1. Uděleno 2018-08-21. Zapsáno 2017-08-01.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem a realizací kamerového pojezdu za použití 3D tiskárny a platformy arduino. V teoretické části práce byla provedena analýza aktuálně užívaných typů kamerových pojezdů, na základě této analýzy byly vypracovány koncepční varianty, ze kterých bylo vybráno nejvhodnější konstrukční řešení. V praktické části práce bylo toto konstrukční řešení vypracováno, byly provedeny výpočty bezpečnosti u zvolených uzlů a byla vypracována výkresová dokumentace zařízení. Následně byl zhotoven prototyp, který byl testován, zda splňuje všechny požadavky. Zhotovené zařízení je schopno nést kameru o hmotnosti 3 kg, pojezdový vozík se pohybuje v rozsahu vzdáleností 0-1200 mm, rychlost hlavního pohybu je nastavitelná v rozmezí 0,37 mm/s až 60 mm/s. Dále je možné otáčet kamerou během hlavního pohybu v rozsahu od 0° do 1800° rychlostí, která je závislá na rychlosti hlavního lineárního pohybu. Zařízení tedy splňuje všechny cíle bakalářské práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

lineární vedení, časosběr, 3D tisk, arduino

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with the constructional plan and implementation of the camera slider while using a 3D printer and Arduino platform. In theoretical part, there is an analysis of the commonly used camera sliders. Based on this analysis, several variations were prepared, and the most feasible constructional plan was chosen. In practical part, the aforementioned plan was worked out, safety calculations concerning selected nodes were made, as well as the mechanical drawing of the device. A prototype was then built and tested, whether it met all the requirements. The suggested device fulfils all the objectives of the Bachelor's thesis.

KEYWORDS

Linear guide, timelapse, 3D printing, Arduino

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUPIL, Michael. *Konstrukce kamerového pojezdu pro natáčení časosběrných záběrů se zaměřením na objekt* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132486>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Tomáš Koutecký.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Tomáši Kouteckému, Ph.D., za vedení mé závěrečné práce, čas strávený na konzultacích, odborné rady a cenné připomínky.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Tomáše Kouteckého, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Podobná zařízení	14
2.2	Kamerový pojezd	16
2.2.1	Manuální kamerový pojezd	16
2.2.2	Automaticky řízený kamerový pojezd	17
2.3	Lineární vedení	17
2.3.1	Vedení s kruhovými vodícími tyčemi a oběhem kuliček	18
2.3.2	Profilová kolejnicová vedení s oběhem kuliček	18
2.3.3	Vedení užívané pro kamerové pojedy	18
2.3.4	Technické specifikace	21
2.4	Způsoby pohybování vozíkem u automaticky řízených kamerových pojezdů	22
2.4.1	Řemen	22
2.4.2	Pohon s ozubeným hřebenem	23
2.5	Systém otáčení kamerou	23
2.6	Kamerové pojedy s využitím 3D tisku	25
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	28
3.1	Analýza problému	28
3.2	Cíl práce	28
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	29
4.1	Varianta 1	30
4.2	Varianta 2	32
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	36
5.1	Nosné díly	37
5.2	Lineární vedení	39
5.3	Systém pohánění pojezdového vozíku	43
5.4	Systém pro otáčení kamerou	43
5.5	Arduino	46

6	DISKUZE	50
7	ZÁVĚR	54
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	58
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	60
11	SEZNAM TABULEK	62
12	SEZNAM PŘÍLOH	63

1 ÚVOD

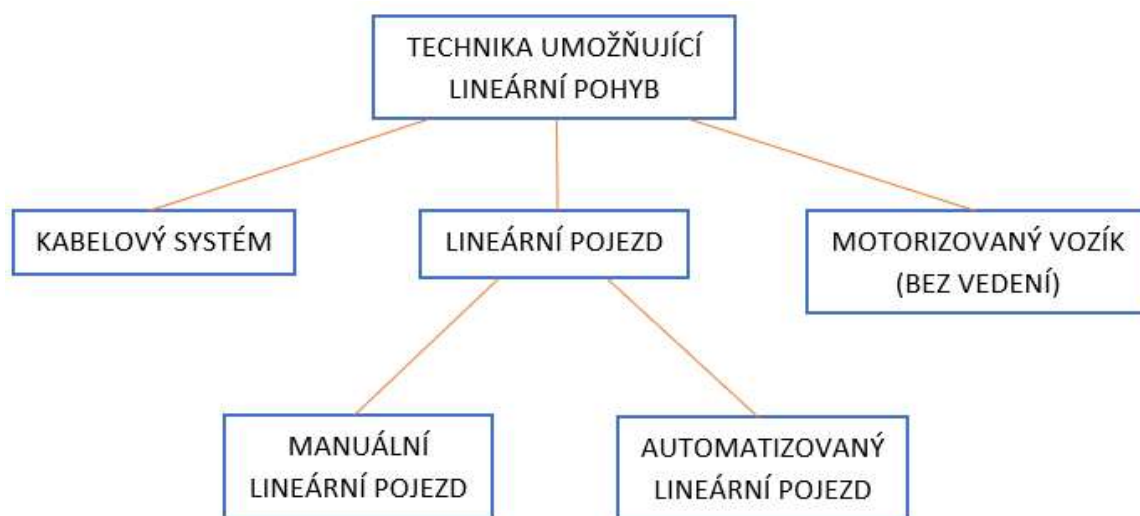
Kinematografie dnešní doby je obohacena o mnohé způsoby získávání snímků. Dnes již není problém udělat záběr napříč fotbalovým hřištěm, na střeše mrakodrapu, či zachytit růst semínka do plného rozkvetu. K tomu všemu je potřeba speciální filmařská technika, která celý proces získávání snímků umožňuje.

V této práci se budu zabývat konstrukčním řešením mechanismu, díky kterému je možné natočit snímek během lineárního pohybu kamery. Tento typ zařízení je volně dostupný na trhu, pohybuje se však v cenové relaci, která nemusí být všem začínajícím filmařům a nadšencům z počátku finančně dostupná. To je také část motivace této práce. V dnešní době není problém si obstarat 3D výtisk modelu na objednávku. Tím se nabízí také možnost propagace a prodej navrženého modelu přes internet. Zařízení má být navrženo tak, aby bylo možné ho zhotovit v domácích podmínkách.

Tento dokument může sloužit také jako inspirace nebo předloha pro někoho, kdo by si chtěl navrhnout zařízení podobného typu, které by však mělo další vlastnosti podle individuálních potřeb.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Kinematografie dnešní doby je obohacena o mnohé způsoby získávání snímků. Dnes již není problém udělat záběr napříč fotbalovým hřištěm, na střeše mrakodrapu, či zachytit růst semínka do plného rozkvětu. K tomu všemu je potřeba speciální technika, která celý proces umožňuje. Tato práce se zabývá technikou umožňující záběr během lineárního pohybu, a tak tuto techniku můžeme rozdělit trochu obecněji do několika podkategorií, které jsou znázorněny, viz. Obr. 2-1.



Obr. 2-1 Schéma rozdělení techniky umožňující lineární pohyb

2.1 Podobná zařízení

Je více možností pro konstrukční řešení mechanismu, který se pohybuje lineárně, vždy však záleží na délce mezi bodem začátku záběru a bodem jeho konce. Pro velké příležitosti, jako je třeba fotbalový zápas, koncert nebo větší svatba, je tu možnost záběru z výšky, kdy je kamera upevněna na vozík, který se pohybuje po kolejkách, tvořených napnutými lany. Cena zařízení, viz Obr 2-2, je 4 272,4 euro (to je cca 100 000 Kč).



Obr. 2-2 Příklad závěsného kamerového systému [1]

Další možností pro záznam na dlouhé vzdálenosti je upevnění kamery na motorizované vozítko na kolečkách, které není nijak vázáno vodícími prvky, díky čemuž je možné pořizovat záběry jak lineárního, tak obloukového charakteru. Je tak možné vytvářet záběry bez rozměrné techniky. Cena zařízení, viz. Obr. 2-3, je 52,57 liber (to je cca 1500 Kč).



Obr. 2-3 Příklad motorizovaného vozítka [2]

Dalším provedením, je upevnění kamery na vozík, který se pohybuje pomocí lineárního vedení. Jedná se o mechanismus, který dodává záběru přesnost a nemožnost vychýlení kamery ze směru, kvůli vnějším vlivům. Tomuto řešení se budeme nadále věnovat.

2.2 Kamerový pojezd

Hlavní téma této kapitoly je rozbor konstrukčních řešení kamerových pojezdů. Toto zařízení je používáno v kinematografii pro speciální efekty. Všechny konstrukce jsou tedy řešeny podobným způsobem. Liší se především robustností, která závisí na hmotnosti, kterou má zařízení unést. Dále dělíme kamerové pojezdy podle toho, jestli jsou řízeny manuálně nebo automaticky.

2.2.1 Manuální kamerový pojezd

Jednodušší a levnější varianta konstrukce kamerového pojezdu je určena pro ruční řízení. Je využíván především pro kratší a rychlejší záběry, kde nejsou kladeny vysoké nároky na plynulý pohyb. Existují však konstrukční řešení, při nichž je využit setrvačnick, který napomáhá docílení hladkého a plynulého pohybu. [3] Cena zařízení, viz. Obr. 2-4, je 599 dolarů (to je cca 12 600 Kč).



Obr. 2-4 Příklad manuálního kamerového pojezdu [22]

2.2.2 Automaticky řízený kamerový pojezd

S vysokými nároky na natočený záběr přišel i nápad udělat strojově přesný, plynulý a konzistentní pohyb od počátku kolejnice do jejího konce. Aby takto mohl kamerový pojezd fungovat, je klasická mechanická konstrukce obohacena o elektricky napájené komponenty, které jsou řízeny řídicí jednotkou. Do takto vybaveného zařízení jsme schopni nadefinovat rychlost a automatické otáčení kamery za vybraným objektem. [4] Cena zařízení, viz.Obr. 2-5, je 990,95 dolarů (to je cca 20 800 Kč).



Obr. 2-5 Příklad automaticky řízeného kamerového pojezdu [5]

2.3 Lineární vedení

Aby se každé mechanické zařízení mohlo pohybovat, musí mít vodící prvky, které umožňují pohyb po dané trajektorii. Ty umožňují komponentám přímočarý nebo křivočarý pohyb. V našem případě patří mezi tyto prvky lineární vedení.

Pod termín lineární vedení spadá několik kategorií výrobků: kluzná vedení, kuličková pouzdra, vedení s oběhem válečků a další. V této oblasti může snadno dojít ke zmatení pojmů. Některé termíny jsou užívány zaměnitelně nebo jsou tak obecné, že při výběru z více výrobků označují libovolný z nich. Tato mylná označení se ale nemusí týkat pouze popisu výrobků. Konstrukční typy a technické parametry jsou v mnoha případech označovány různými názvy individuálně podle výrobce. Pro lepší orientaci jsou zde následující odstavce, ve kterých bude specifikováno, které termíny se používají k identifikaci, popisu a specifikaci lineárních vedení. [6]

2.3.1 Vedení s kruhovými vodícími tyčemi a oběhem kuliček

Toto provedení je také označováno jako lineární pouzdra, kuličková pouzdra, pouzdra nebo obecně „lineární kuličková ložiska“.

Nejběžněji užívaný termín je zároveň i ten nejméně popisný, a tím je právě „lineární kuličková ložiska“. Většinou se jím rozumí pouzdro pro kruhové vodící tyče. Kruhový průřez u vodících tyčí byl první, který se využíval u vedení s oběhem kuliček, a i nadále je využíván v aplikacích s nižšími zatíženími nebo v mimořádně nepříznivém prostředí. [6]

2.3.2 Profilová kolejnicová vedení s oběhem kuliček

Toto provedení je označováno jako vodící kolejnice, lineární vedení, vedení LM nebo profilová kolejnice.

V tomto případě má kolejnice obvykle pravoúhlý tvar a je obrobením upravena tak, že jsou vytvořeny dráhy pro nosné prvky (kuličky nebo válečky). Profilová kolejnicová vedení disponují tím, že mají větší únosnost a vyšší tuhost než vedení s kruhovými tyčemi. Jejich možnost využití je velická, od jednoduchých manipulátorů po obráběcí stroje. [6]

2.3.3 Vedení užívané pro kamerové pojezdy

Ve většině případů konstrukcí se můžeme setkat s vodícím prvkem jednoduchého tvaru. Jedná se především o trubku kruhového průřezu. O něco robustnější a ke stavbě takového mechanismu příznivější jsou speciální stavebnicové hliníkové profily. Ovšem vozík je po obou variantách veden zpravidla podobným způsobem. Většinou je pohyb vozíku uskutečněn pomocí pojezdových kladek nebo pojezdových koleček, viz. Obr. 2-7, které jsou excentrickými maticemi ke kolejnici přitlačeny tak, aby nebyl omezen vozík v pohybu a aby nebyla vůle mezi pojezdovými kolečky a kolejnicí. Vozíky mohou být takto upevněny zevnitř nebo zvenku. To se odvíjí především od velikosti a skladnosti celého zařízení. [7]



Obr. 2-6 Příklad vnějšího lineárního vedení kamerového pojezdu [23]



Obr. 2-7 Příklad pojezdového kolečka [24]



Obr. 2-8 Příklad vnitřního lineárního vedení kamerového pojezdu [8]



Obr. 2-9 Příklad kamerového pojezdu s vnitřním lineárním vedením [9]

2.3.4 Technické specifikace

Pro lineární vedení je nejzákladnějším parametrem únosnost. Lineární vedení s oběhem valivých těles odolává účinkům silového i momentového zatížení. Únosnost dělí na statickou únosnost a dynamickou únosnost.

Statická únosnost, značená C_0 , je zatížení nebo moment, při kterém se trvalá deformace oběžné dráhy rovná 0,01 % průměru kuliček nebo válečků.

Dynamická únosnost, značená C , je konstantní zatížení orientované kolmo na nosnou plochu, při kterém 90 % vzorků dosáhne za provozu definované pojezdové vzdálenosti. Je využívána k výpočtu teoretické životnosti ložisek.

Dalším důležitým parametrem je přesnost. Volba třídy přesnosti profilového kolejnicového vedení závisí na pěti parametrech:

- výšková tolerance sestavy kolejnice a vozíku
- přípustný rozdíl výšky mezi jednotlivými vozíky na stejné kolejnici
- šířková tolerance sestavy kolejnice a vozíku
- přípustný rozdíl šířky jednotlivých vozíků na stejné kolejnici
- rovnoběžnost referenčních ploch kolejnice a vozíku

Další charakteristikou, která je velmi důležitá, je předpětí. Určuje nám totiž velikost vůle mezi ložiskovým vozíkem a vodící kolejnicí. Abychom dosáhli potřebného předpětí, jsou použity kuličky, které mají větší průměr, než je vzdálenost mezi oběžnými drahami ložiskového vozíku a vodící kolejnicí. Taková eliminace vnitřní vůle má za důsledek snížení vychýlení při působení vnějšího zatížení. [6]

2.4 Způsoby pohybování vozíkem u automaticky řízených kamerových pojezdů

2.4.1 Řemen

Asi nejvyužívanější způsob pohybování vozíkem po vedení je pomocí ozubeného řemene, který je napnutý po celé délce lineárního vedení. Možnosti zapojení je více. Může být pevně připevněn oběma konci k vozíku a na jednom konci pojezdu veden kolem řemenice na krokovém motoru a na druhém konci kolem kladky. Další možností je pevné připevnění řemene na obou koncích pojezdu, krokový motor s řemenicí je přimontován k vozíku a řemen je přitlačným kolečkem tlačен na řemenici, nemůže tedy dojít k přeskočení řemene.



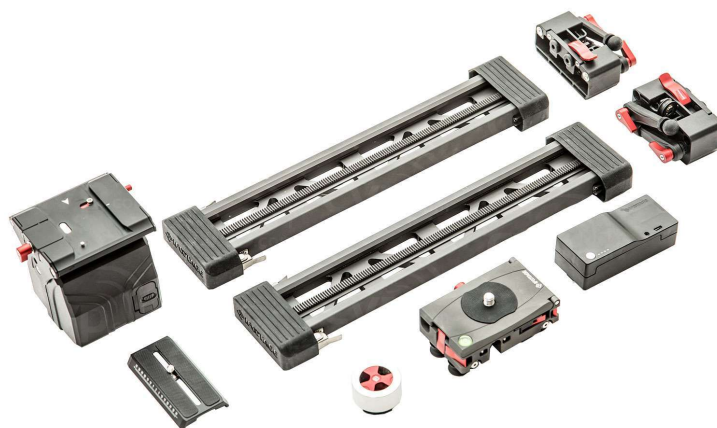
Obr. 2-10 Příklad ukotvení obou konců řemene k pojezdovému vozíku [10]



Obr. 2-11 Příklad ukotvení konců řemene k nosným koncům lineárního vedení [11]

2.4.2 Pohon s ozubeným hřebenem

Pohon s ozubeným hřebenem je velmi podobný variantě pohonu s ozubeným řemenem. Krokový motor s ozubeným kolem je připevněn na pohyblivý vozík a ozubený hřeben pod vozík. Konstrukce vodícího prvku se liší tím, že jsou kolejnice spojeny po celé délce nebo na více místech, aby měl ozubený hřeben dostatečnou oporu a neprohnul se při zatížení. Takové konstrukční řešení dovoluje napojení více částí vodících prvků za sebe v neomezeném množství, viz. Obr. 2-12. [12]



Obr. 2-12 Příklad kamerového pojezdu s užitím ozubeného hřebene [12]

2.5 Systém otáčení kamerou

Problémem manuálního pojezdu je nemožnost přesného směřování kamery na vybraný objekt. Oproti automaticky řízenému pojezdu je tu kameraman nucen mířit přesně pomocí madla. Existují však externí, čistě mechanické nastavby, které po nastavení počáteční a konečné polohy kamery jsou schopny plynulého přechodu mezi těmito polohami v závislosti na primárním, lineárním pohybu. Tento mechanismus je ztvárněn vodící kolejnici, která je nakloněná ve dvou osách k hlavní vodící kolejnici, otočným stolem a ramenem, které spojuje tyto dvě části, viz. Obr. 2-13. Stolek je připevněn k vozíku tak, aby měl více než jeden stupeň volnosti. Toto provedení umožňuje pohybovat fotoaparátem kromě hlavního lineárního pohybu i kolem osy horizontálně. Je tedy možné s kamerovým pojezdem experimentovat ve smyslu polohy a natočení vůči natáčenému objektu. [13]

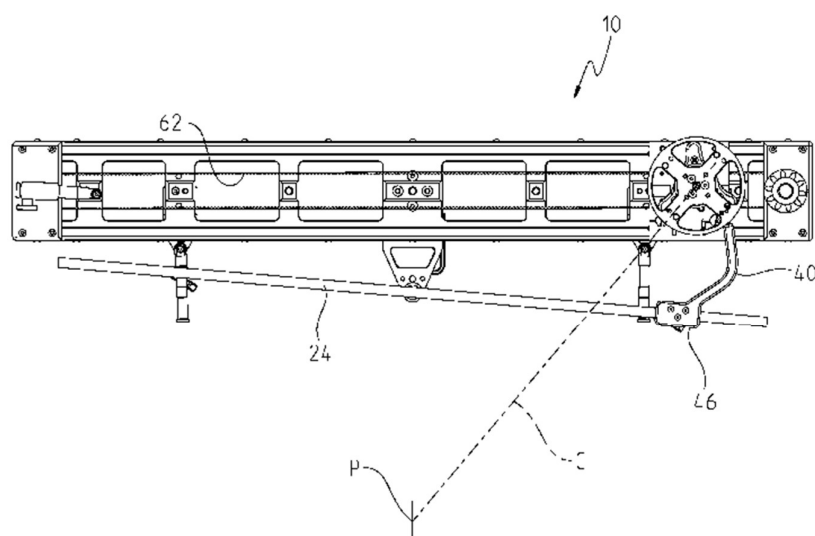


Fig. 4

Obr. 2-13 Příklad mechanismu umožňujícího otáčení kamerou [13]

Pro složitější pohyby už mechanická nástavba nestačí. Některé automatické pojezdy nabízejí možnost pohybu kamery lineárně, horizontálně kolem vlastní osy a vertikálně kolem vlastní osy, viz. Obr. 2-14. Pro takový mechanismus už jsou využity krokové motory připojené na řídicí jednotku, které tyto pohyby zajišťují. [14]



Obr. 2-14 Příklad elektrického zařízení, které je schopno pohybovat kamerou ve dvou osách [14]

2.6 Kamerové pojezdy s využitím 3D tisku

Kamerové pojezdy, vyrobené za použití 3D tisku, na trhu nejsou, ale můžeme se setkat s individuální amatérskou tvorbou jedinců, kteří si vyrábí kamerové pojezdy podle svých individuálních potřeb. Většinou jsou ale menší délky. Provedením jsou si podobné, spojuje je především konstrukční řešení vozíku, který nezabírá velké množství prostoru, ale není možné ho zatížit těžším nebo větším vybavením.

V této kapitole jsou snímky různých provedení kamerových pojezdů, které si nadšená komunita je schopna vyrobit pro vlastní potřebu.

Kamerový pojezd, viz. Obr. 2-15, má automatizovaný pouze lineární pohyb, který je přenášen řemenem z krokového motoru a užívá hliníkový stavebnicový systém kombi jako rám. Jako lineární vedení je použito vnější uložení.



Obr. 2-15 Příklad domácí výroby [15]

Kamerový pojezd, viz. Obr. 2-16, je manuálně řízené provedení s vnějším uložením na hliníkovém stavebnicovém systému kombi.



Obr. 2-16 Příklad domácí výroby [16]

Kamerový pojezd, viz. Obr. 2-15, není automatizovaný a jako lineární vedení je užito lineární kuličkové vedení.



Obr. 2-17 Příklad domácí výroby [17]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Na dnešním trhu je nevelké množství možností zakoupit lineární kamerový pojezd, který disponuje automatizovaným pojezdem a otáčením, dlouhou posunovou vzdáleností a pro amatéry dostupnou cenou. Většinou se jedná o celokovové konstrukce, nebo konstrukce s karbonovými prvky. Jedná se o výrobu sériovou. Kdybychom se ale ohlédli za moderní „kutilskou“ technologii, zjistili bychom, že s využitím 3D tisku a Arduina jsme schopni vyrobit součásti bez nutnosti opracování a řídicí jednotku komukoliv dostupnou a v případě zájmu, libovolně programovatelnou.

3.2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je návrh a následná konstrukce pojezdu umožňujícího pohyb fotoaparátu s hmotností do 3000 g na vzdálenost minimálně 1 m s možností definovat rychlost pohybu a otáčení kamery při pohybu se zaměřením na objekt v definované vzdálenosti. Celé zařízení bude řízeno z platformy Arduino.

Dílčí cíle bakalářské práce:

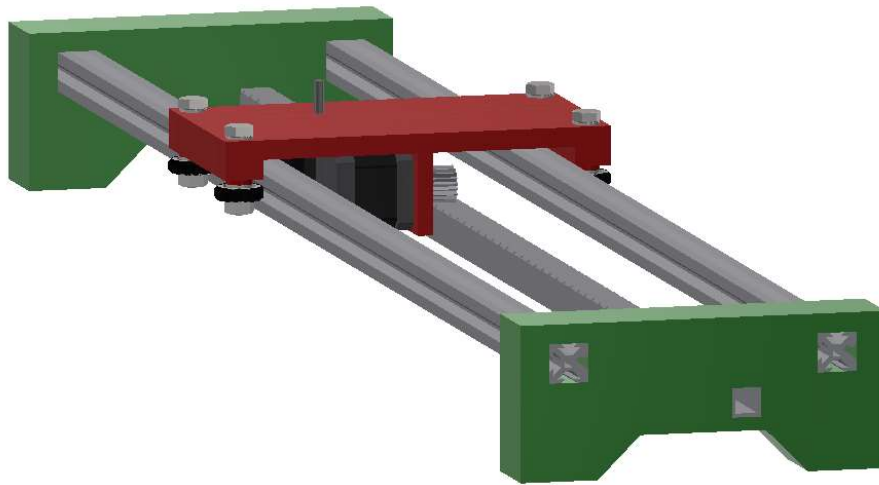
- popsat současné konstrukce kamerových pojezdů
- definovat vhodné parametry pro konstrukční řešení
- navrhnout varianty konstrukčních uspořádání
- zpracovat konstrukci a výkresovou dokumentaci vybrané varianty včetně řídicího Softwaru
- realizovat a otestovat funkční zařízení

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Na základě informací z teoretické části bakalářské práce, byla navržena koncepční řešení, která budou splňovat zadané požadavky. Jedná se o řešení tří konstrukčních prvků.

První konstrukční prvek je posuvný vozík, který je připevněn k lineárnímu vedení a nese systém připevnění natáčejícího zařízení. Vozík bude vyroben pomocí 3D tiskárny. Protože bude vyroben z plastu, nastává problém při dotahování upínacích šroubů, zajišťující jen jeden stupeň volnosti. Takové dotažení může způsobit pružnou nebo plastickou deformaci, která ovlivní funkčnost celého mechanismu. Druhým prvkem je způsob manipulování s posuvným vozíkem po lineárním vedení. Manipulační prvek má za úkol, zajistit pohyb po celé délce vedení a nesmí bránit v jakémkoliv úkonu zbytku konstrukce. Je pevně zajištěn na obou koncích konstrukce, aby nedošlo k poškození při manipulaci. Manipulující prvek musí být schopen zajistit plynulý pohyb ve více rychlostních možnostech. Třetím konstrukčním prvkem je systém horizontálního otáčení kamerou kolem osy.

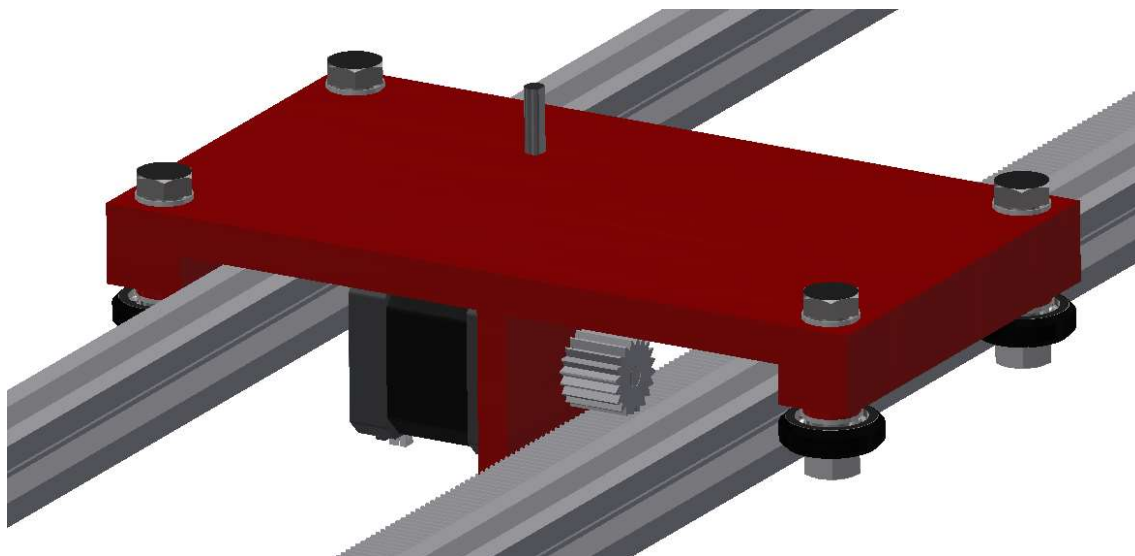
4.1 Varianta 1



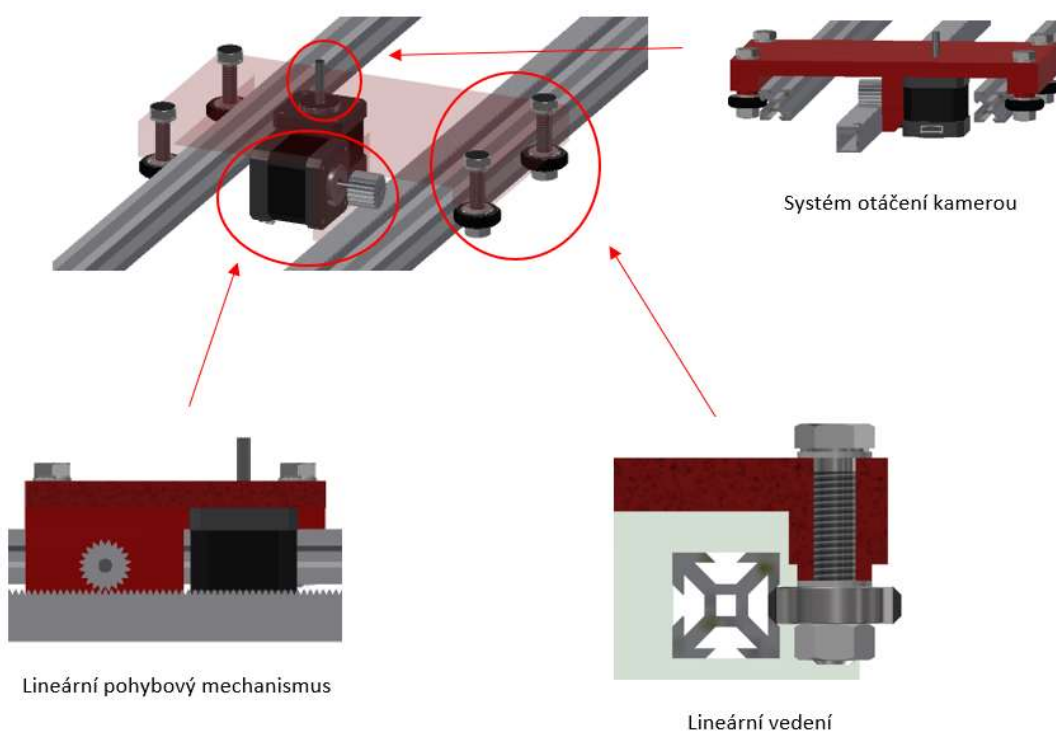
Obr. 4-1 Koncepční varianta 1

Jedná se o jednoduchý vozík na hliníkovém stavebnicovém systému kombi s přenosem pohybu pomocí ozubeného hřebene a bezpřevodovým otáčením kamerou, viz. Obr. 4-1.

Lineárním vedením v této variantě jsou upnutá plastová kolečka s ložiskem, která jezdí po hliníkových tyčích stavebnicového systému kombi, viz. Obr. 4-2, která jsou připevněna k vozíku klasickými šrouby s maticemi s využitím distančních podložek u ložisek. Horizontální otáčení kolem osy zajišťuje krokový motor, který je umístěn uprostřed pod vozíkem a kamerou otáčí přímo bez převodu. Přenesení pohybu je zajištěno pomocí ozubeného hřebene, vytištěného na 3D tiskárně, který je upevněný mezi kolejnicemi na hliníkovém profilu menších rozměrů v průřezu, než jsou kolejnice, který je připevněn na obou koncích konstrukce šrouby s maticemi k plastovým nohám. Krokový motor je připevněn pevně na spodní stranu vozíku a na jeho hřídeli je ozubené kolo, které přenáší pohyb, viz. Obr. 4-3.



Obr. 4-2 Způsob uložení pojezdového vozíku 1. varianty



Obr. 4-3 Detailní pohledy se zaměřením na vybrané konstrukční uzly 1. varianty

Nevýhodou je v první řadě samotné provedení, které by zpevňovalo upínací prvky jen stolem s upnutou kamerou. Kdyby se jednalo o kovové provedení, byla by to ideální varianta, která se klasicky užívá, ale protože je vozík vyráběn z plastu, který nedosahuje takových pevnostních vlastností, mohlo by při dotažení dojít k prohnutí horní desky. Další nevýhodou je bezpřevodový pohon otáčení kamerou. Poloha upevnění krokového motoru, který ji otáčí sice dovoluje zmenšení vozíku, ale otáčení by nebylo tak plynulé, jako s převodem.

Nevýhodou pro tuto variantu přenosu pohybu je nutnost spojení ozubeného hřebene z více výtisků. Přechody mezi jednotlivými částmi by mohl narušovat pohyb vozíku, to by mělo za následek „škobrtnutí“ během plynulého záběru.

Největší výhodou pro toto konstrukční řešení je jednoduchost návrhu a složení všech dílů. Oba koncové díly slouží pouze jako spoje a nosiče pro celou konstrukci a není na nich závislý ani jeden konstrukční prvek.

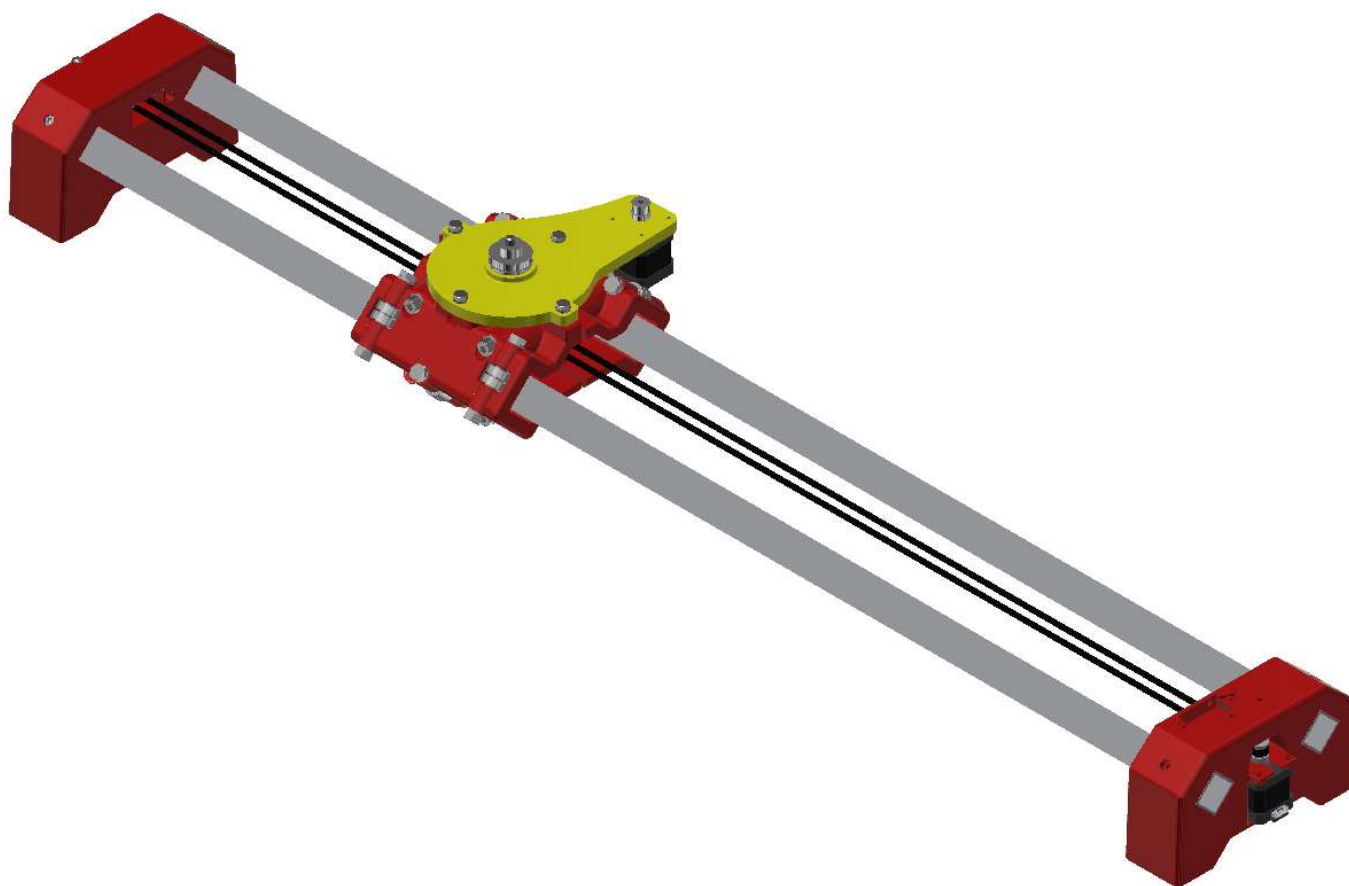
4.2 Varianta 2

Jedná se o dvoudílný vozík na hliníkových čtvercových profilech s přenosem pohybu pomocí řemene, viz. Obr. 4-4.

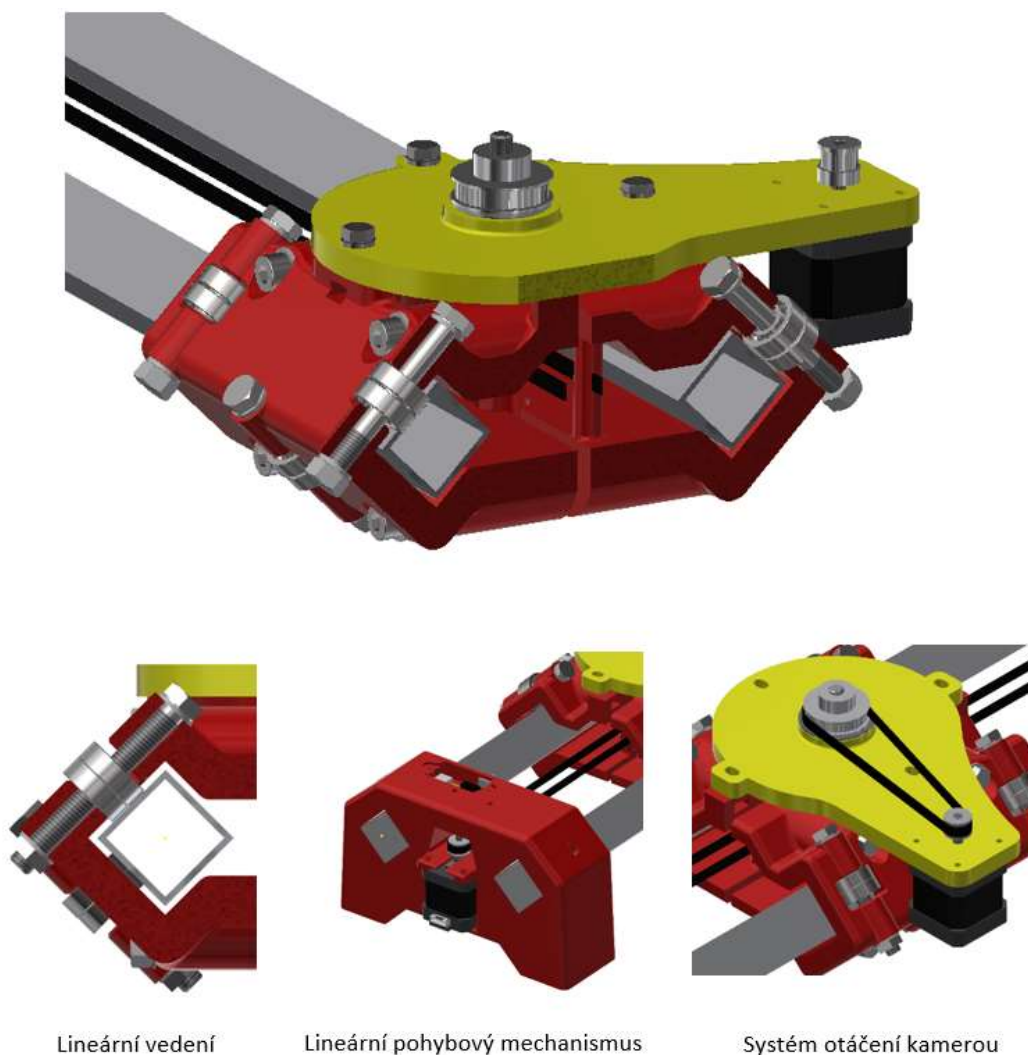
Tato varianta využívá možnosti 3D tisku, vozík je tak tvořen komplexněji než varianta první. Jedná se o obepnutí hliníkových profilů z obou stran dvěma polovinami pojezdu, které jsou k sobě přišroubovány dvěma šrouby jak nad profily, tak pod nimi. Dosedací plochy mezi vozíkem a profily tvoří profily samotné a šest ložisek na každé polovině, navlečených na šroubech, tvořících jejich osu. Jde tedy o vyvážení zatížení, které by mělo zamezit následné deformaci vozíku. Tyto poloviny jsou na horním povrchu srovnány do roviny, na které leží přišroubovaný stůl, ke kterému je připevněn krokový motor. Osu otáčení kamery tvoří šroub přitažený k samotnému držáku kamery. Hlava šroubu a držák kamery k sobě upínají obě poloviny vozíku, stůl, řemenici a dvě radiální ložiska na každé straně, která zajišťují jeden stupeň volnosti. Řemenový převod mezi osou otáčení kamery a pohánějícím krokovým motorem má převodový poměr 2:1, viz. Obr. 4-5.

Tento způsob uložení dvěma polovinami lineárního vedení je založen na podobném řešení, ale jiného typu zařízení. Rozdíl je především ve směru namáhání, od čehož se odvíjí také umístění ložisek. Dále je provedena inovace míst, kde se připojuje platforma pro krokový motor a šroub jako osu otáčení. [18]

V tomto případě je s vozíkem pohybováno za pomoci otevřeného řemene, který je oběma konci upevněn k vozíku. Na jednom konci konstrukce je navlečen na řemenici na krokovém motoru a na druhém konci na kladce. Tento způsob zajišťuje snadnou a levnou výměnu při poškození řemene.



Obr. 4-4 Způsob uložení pojezdového vozíku 2. varianty



Obr. 4-5 Detailní pohledy se zaměřením na vybrané konstrukční uzly 2. varianty

Největší nevýhodou této varianty je množství použitého materiálu při 3D tisku. Další nevýhodou je vyšší hmotnost vozíku se stolek, zapříčiněná větším množstvím spojovacího materiálu. Pro spojení dílů a jako nosné osy ložisek jsou zvoleny šrouby. Nevýhodou pro tento způsob přenosu pohybu je nutnost zakomponování napínacího mechanismu do konstrukce tak, aby nijak neomezoval funkčnost zařízení.

Výhodou tohoto řešení je jeho robustnost dílů vozíku, která zajišťuje pevnost při spojení všech dílů šrouby. Dalšími výhodami jsou řešení přenosu pohybu pomocí řemenů při pohybování vozíkem po kolejnicích a horizontálním otáčení kamerou, kde je převodový poměr 2:1, který zajišťuje větší plynulost pohybu, než kdyby byl 1:1.

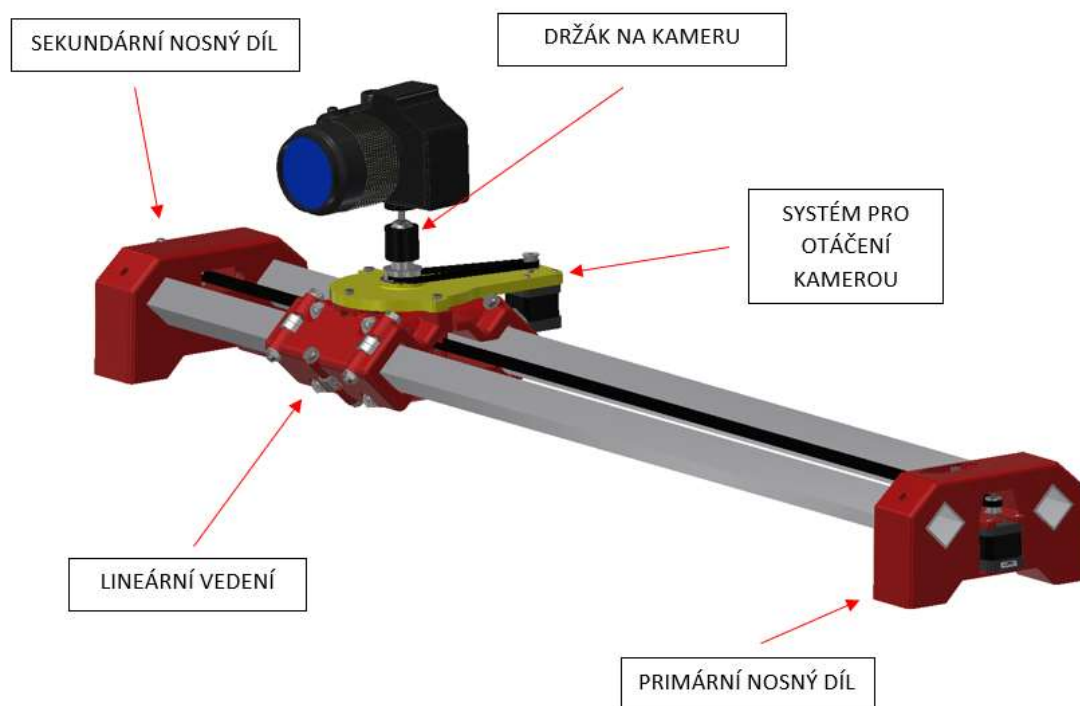
Shrnutí

Obě varianty jsou funkčně realizovatelné, ale po nahlédnutí do problematiky z hlediska kvality výstupního záběru kamery jsem se rozhodl pro variantu druhou. Ne všechny kamery disponují aktivní stabilizací obrazu, která je schopna se vyrovnat se záchvěvy při natáčení. Takové záchvěvy mohou být následkem bezpřevodového otáčení kamerou. Dále má druhá varianta větší předpoklady pro stabilnější chod konstrukce a je vhodnější z hlediska únosnosti většího zatížení hmotností kamery, protože dvoudílný vozík je zpevněn čtyřmi šrouby, které vytváří zpevnění a zabraňují deformaci po zatížení kamerou.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Tato kapitola se věnuje konstrukčnímu zpracování zvoleného koncepčního návrhu. Je zde popsáno proč a jak je konstrukce uzpůsobena pro bezproblémový chod, montáž a údržbu.

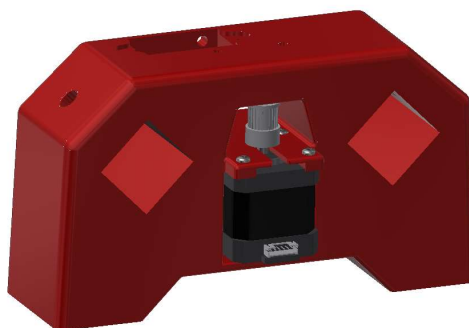
Jelikož počítání přesné únosnosti plastových dílů, které jsou tvořeny pouze vnějšími vrstvami plastových extruzí 3D tisku a několikaprocentním vyztužením vnitřního prostoru, není možné, je třeba je navrhnout s ohledem na vlastnosti 3D tisku. Oproti vstřikovaným plastovým dílům je tištěný díl vyplněný procentuálním množstvím vnitřního plnění. Tloušťka vnější stěny je závislá na průměru otvoru tiskové trysky, musí být násobkem tohoto rozměru, aby byly vrstvy řádně spojeny.



Obr. 5-1 Rozdělení vybrané varianty kamerového pojezdu na základní části

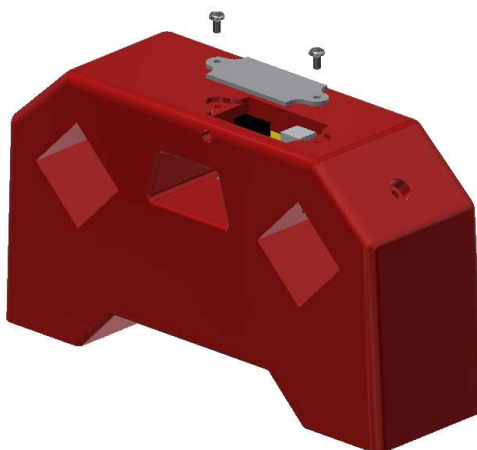
5.1 Nosné díly

Primární nosný díl je navržen na základě umístění krokového motoru s připevněnou řemenicí a na tvaru profilů kolejnice. Primární řemen pro přenos pohybu na vozík je uschován mezi profily kolejnice, při manipulování je tedy menší šance poškození. Od toho se odvíjí umístění krokového motoru, který je z části zakomponován přímo do nosného dílu, viz. Obr. 5-2. K uchycení motoru slouží čtyři šrouby, které se skrze díl šroubují do motoru. Díry v těchto tištěných součástech mohou mít i menší průměr. To je způsobeno tím, že tiskárna dokáže souřadnici díry při tisku udržet spolehlivě, ale vytištěný průměr tolik přesný není. U menší díry je třeba šroub protlačit, tím dochází k minimalizaci vůle, motor je tak připevněn téměř dokonale. Dva šrouby jsou dostupné zvenčí a pro zbylé dva jsou navrženy dvě díry skrze krytování, kudy je možné prostrčit šroubovák.

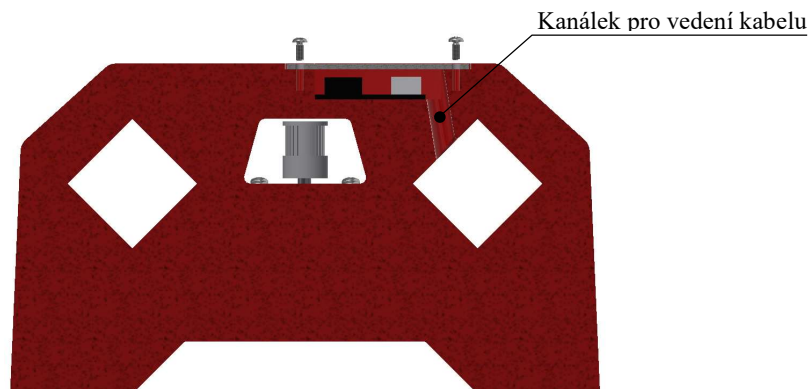


Obr. 5-2 Připevnění krokového motoru

K dílu je přišroubován spínač, který detekuje vozík v mezní poloze u tohoto dílu. Spínač je přišroubovaný v dutině na povrchu horní části. Tlačítko spínače je vedeno dírou směrem ke kritické oblasti. Kabeláž je vedena z dutiny dírou do profilu kolejnice a následně ven. Dutina je zabezpečena krytem přišroubovaným šrouby M3 přímo do plastu, kde se závit pevně zařízne do plastových děr, viz. Obr 5-3.

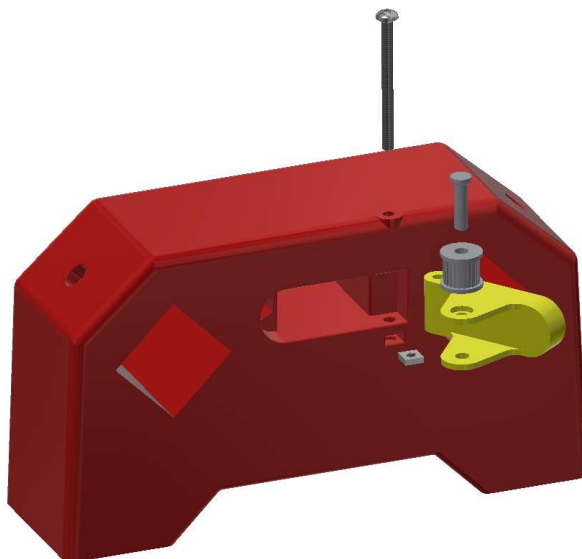


Obr. 5-3 Zakrytování koncového spínače

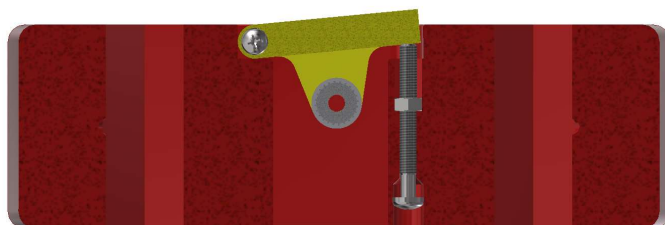


Obr. 5-4 Vedení kabeláže koncového spínače

Sekundární nosný díl je navržený na stejném základu jako je primární. Kromě držení celé konstrukce má funkci napínání řemene. To je docíleno zakomponovaným napínákem pákového stylu, viz. Obr.5-5. Pant páky je tvořen šroubem M4, který je našroubován do matice čtvercového tvaru. Matice je nalisována do nosného dílu. Řemenice je umístěna na kolíku napínací páky. Řemen se po navlečení a ukotvení napne odtlačováním šroubem, viz. Obr.5-6. Na tomto šroubu je umístěna matice, která je zaseknuta o samotný nosný díl. Otáčením šroubu tak můžeme regulovat napjatost řemene.



Obr. 5-5 Mechanismus na napínání řemene



Obr. 5-6 Způsob napínání řemene

5.2 Lineární vedení

V případě kovových nebo karbonových konstrukcí je lepší kruhový profil. Tady je však nutné přihlížet k mírné nevyhnutelné deformaci plastového materiálu. Kolejnice byla vybrána na základě nejpevnější možnosti uchycení pojezdového vozíku v rámci výroby 3D tiskem, kdy je kolejnice kompletně obepnuta, tudíž nemůže dojít k vyvléknutí. Ideálním řešením je tedy čtvercový profil.

Pro výpočet bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti a průhybu kolejnicového profilu jsou zahrnuty tyto parametry:

- Hmotnost kamery a vozíku: $m = 4,812 \text{ Kg}$
- Zatížení působící na jeden profil: $F = 23,6 \text{ N}$
- Mez kluzu hliníku: $\sigma_K = 193 \text{ MPa}$
- Youngův modul pružnosti hliníku: $E = 70\,000 \text{ MPa}$
- Délka profilu: $L = 1494 \text{ mm}$
- Kvadratický moment vůči ose y: $J_y = 29\,418,67 \text{ mm}^4$

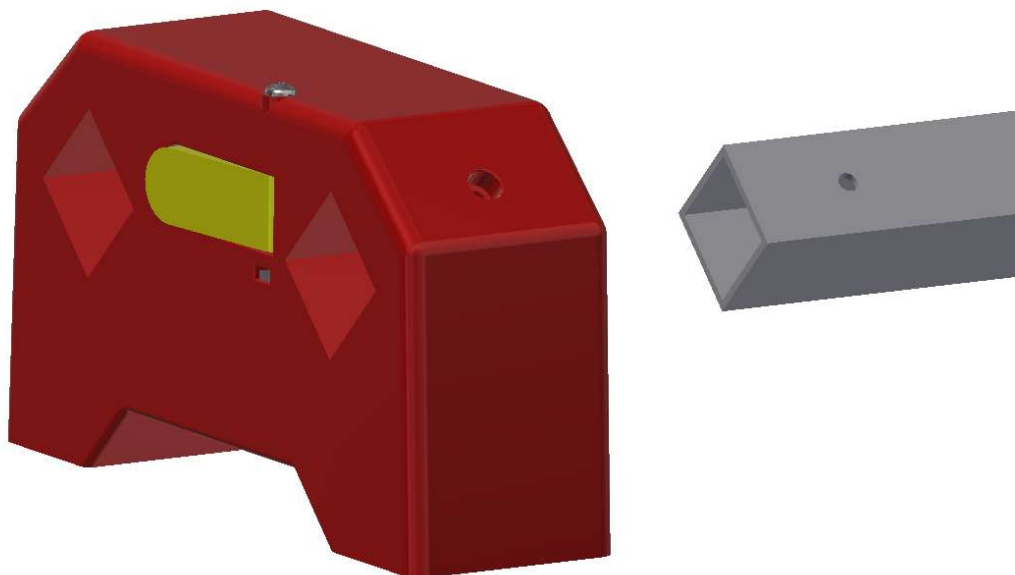
Výpočet bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti a průhybu kolejnicového profilu, viz. příloha 1.

Výsledné hodnoty:

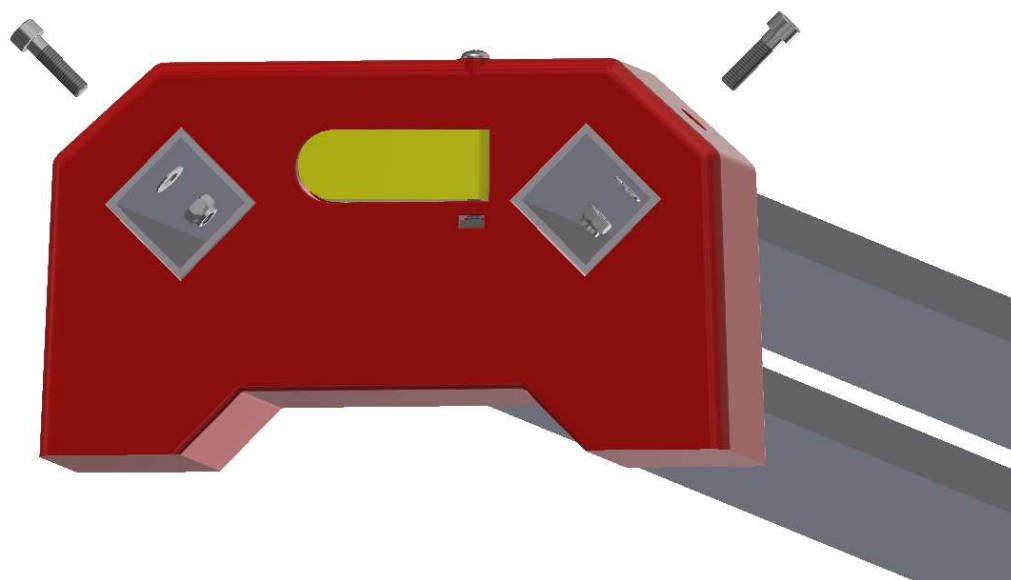
Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti: $K_K = 30,36$

Maximální průhyb kolejnice: $W_i = 0,796 \text{ mm}$

Tento profil je nasunutý do nosných dílů a je zajištěn šrouby M5 s pojistnými maticemi, viz. Obr. 5-7.



KROK 1



KROK 2

Obr. 5-7 Postup připevnění hliníkových profilů k nosnému dílu

Systém uložení pojezdového vozíku na kolejnici vychází ze skutečnosti, že je třeba kolejnici obepnout celou. Z toho plyne problém, při dotahování upevnění vozíku. Je nezbytné, aby se styčná plocha zachovala i po dotažení. To je zajištěno kolmostí kolejnice, na kterou tečně dosedají ložiska, jejichž poloha vůči kolejnici se při dotahování nemění. Každá polovina vozíku je osazena šesti ložisky. Jsou rozmístěny tak, aby byly v horní polovině čtyři páry, které jsou nejvíce zatíženy hmotností kamery.

Pro výpočet bezpečnosti statické únosnosti ložisek jsou zahrnuty tyto parametry:

- Ložisko 608 2Z ČSN 02 4630 [19]
- Hmotnost kamery a vozíku: $m = 4,812 \text{ kg}$
- Gravitační zrychlení: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Okolní teplota: $t = 20 \text{ °C}$

Výpočet bezpečnosti statické únosnosti ložisek, viz. příloha 1.

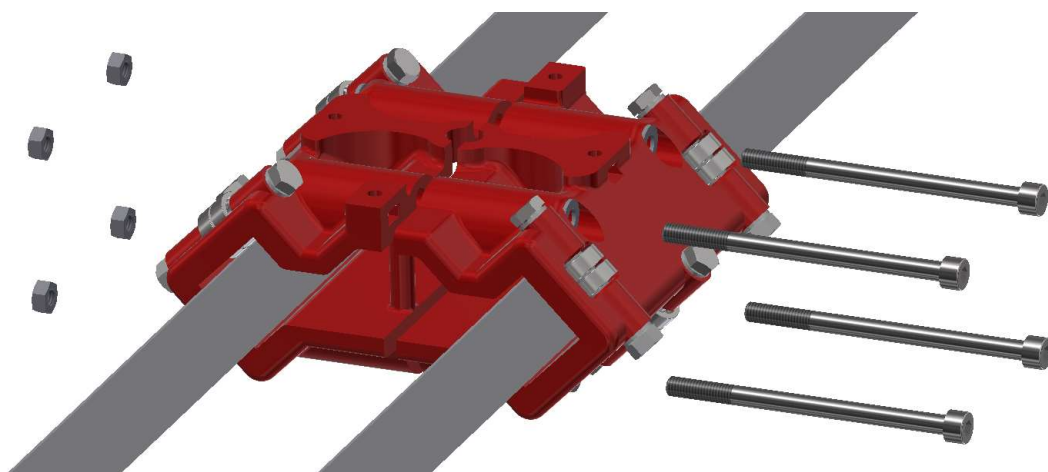
Výsledné hodnoty:

Bezpečnost statické únosnosti ložisek: 513

Ve spodní polovině jsou dva páry ložisek umístěny pro stabilnější uchycení ke kolejnici. Ložiska jsou uložena v otvorech ve vozíku na šroubech, které tvoří jejich osy. Pro lepší chod jsou ložiska distancována od sebe a od stěn otvoru tištěnými podložkami o tloušťce 1 mm. Osy otáčení těchto ložisek jsou tvořeny šrouby M8, viz. Obr. 5-8. Toto provedení je navrženo pro snadnou údržbu a levnou výměnu. Obě poloviny vozíku jsou spojeny šrouby M8, viz. Obr. 5-9. Tím, že jsou tyto šrouby rozloženy souměrně a prochází téměř celým vozíkem, zpevňují ho a zabraňují případné deformaci, která může při utahování vznikat.



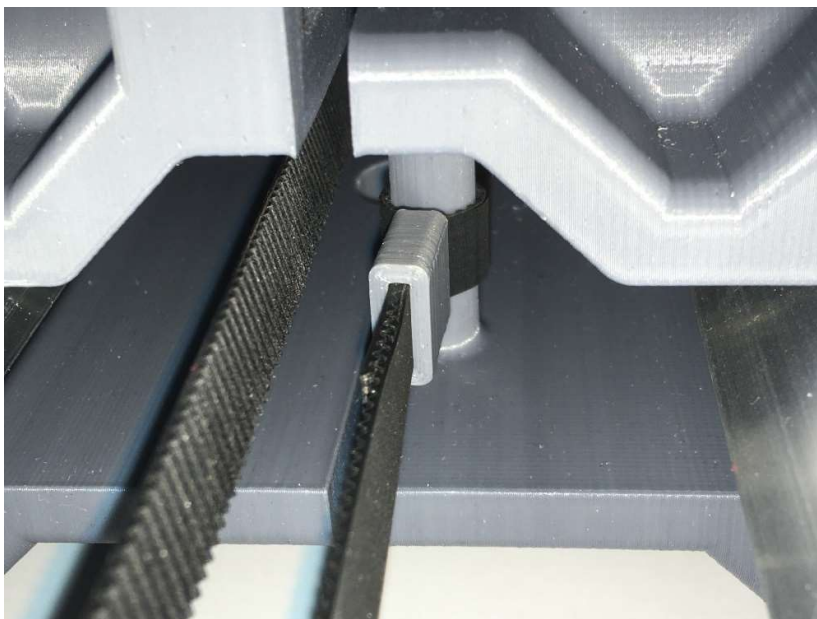
Obr. 5-8 Způsob uložení ložisek lineárního vedení



Obr. 5-9 Způsob spojení polovin pojezdového vozíku lineárního vedení

5.3 Systém pohánění pojezdového vozíku

Přenos pohybu z krokového motoru je zajištěn pomocí řemene, který je navlečen na hnací řemenici na krokovém motoru a na napínací ozubené kladce, která je součástí sekundárního nosného dílu. Řemen GT2 o šířce 10 mm je otevřený a oba konce jsou připevněny k pojezdovému vozíku. K tomu slouží vzpěry na jedné ze dvou polovin, ze kterých je vozík sestaven. Pro takové uchycení je využita vlastnost samotného řemene, ozubení po obtočení kolem vzpěry do sebe perfektně zapadá. Pro zajištění proti vyklouznutí slouží vytištěná součástka, která po navlečení vytvoří pevné uzavření smyčky, viz. Obr. 5-10. Takové spojení je provedeno na obou koncích řemene.



Obr. 5-10 Způsob uchycení hlavního řemene k pojezdovému vozíku

5.4 Systém pro otáčení kamerou

Systém otáčení kamerou je navržen jako samostatná funkční sestava, která je k pojezdovému vozíku předělána čtyřmi šrouby M6 s matkami zapuštěnými do pojezdového vozíku a hlavním šroubem M8, který tvoří osu otáčení kamery. Šroub prochází skrze dvě axiální ložiska. Jedno ložisko je opřeno ze spodní strany o obě poloviny pojezdového vozíku a druhé je uloženo do tištěné platformy pro řemenový převod.

Pro výpočet bezpečnosti statické únosnosti ložiska uloženého v platformě jsou zahrnuty tyto parametry:

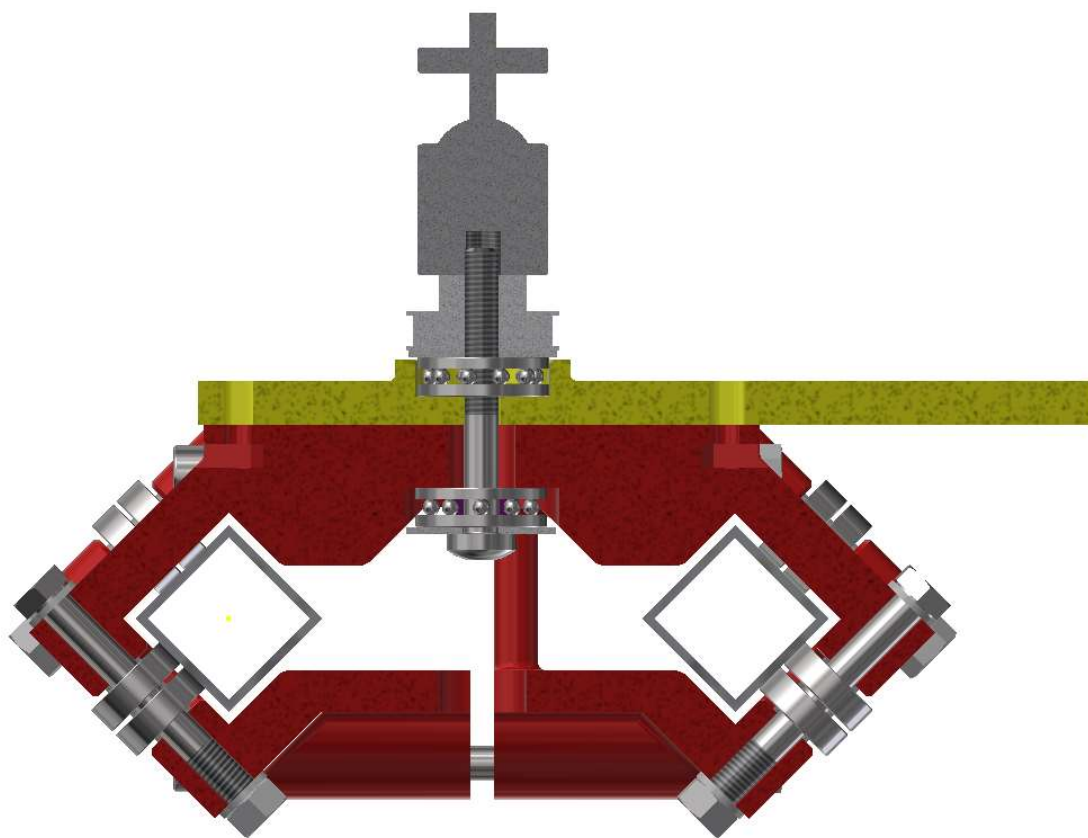
- Ložisko 51 103 ČSN 02 4730 [20]
- Hmotnost kamery a vozíku: $m = 4,812 \text{ kg}$
- Gravitační zrychlení: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Výpočet bezpečnosti statické únosnosti ložiska uloženého v platformě, viz. příloha 1.

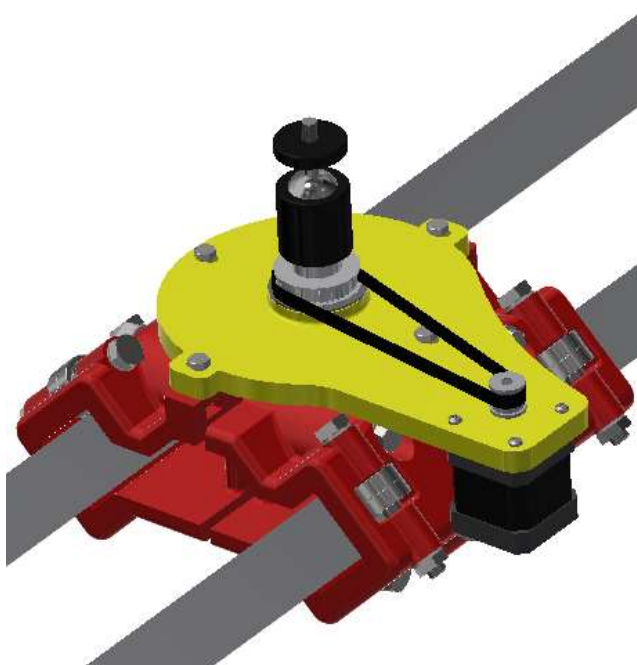
Výsledné hodnoty:

Bezpečnost statické únosnosti ložiska: 449

Tento způsob uložení je schopen vyrovnat možné nepřesnosti při tisku nebo při montáži. Je tomu tak proto, že hlavní tvar a délkové parametry, jako je například vzdálenost mezi osou otáčení kamery a osou hřídele krokového motoru, jsou experimentálně stanoveny a je podle nich navržena platforma, která překrývá obě poloviny pojezdového vozíku. Nepřesností je myšlena vzdálenost obou polovin vozíku. Tento parametr má vliv na usazení osy otáčení držáku kamery. Její poloha je přesně vztažena k platformě, ale nikoliv k vozíku. Spodní axiální ložisko tedy dosedá až po uložení horního axiálního ložiska do díry, ve které je vystředěno středícím výběžkem. V tomto výběžku se nachází díra pro šroub, který tvoří osu otáčení a podle kterého je díky středící vložce spodní axiální ložisko usazeno do správné polohy. Ložiska jsou sepnuta mezi podložkami, které umožňují samotné sepnutí, a také částečně zamezují vnikání nečistot do ložisek, viz. Obr. 5-11.



Obr. 5-11 Způsob uložení osy otáčení kamery



Obr. 5-12 Řemenový přenos pohybu na osu otáčení kamery

Na šroubu, který tvoří samotnou osu otáčení je navlečena řemenice, která je uchycena dvěma stavěcími šrouby. Za řemenicí je šroub našroubován do samotného držáku na kameru. K převodu slouží uzavřený řemen GT2 6mm o délce 300mm, řemenice s dvaceti zuby a řemenice se čtyřiceti zuby pro převodový poměr 2. Toto otáčení zajišťuje krokový motor, který je přišroubován k platformě čtyřmi šrouby M3.

5.5 Arduino

Od systému řízení se odvíjelo konstrukční řešení kamerového pojezdu, tvorba schématu elektrického zapojení a následně samotný program.

Princip fungování kamerového pojezdu:

1. Po zapnutí se objeví ikona příkazu pro nastavení počáteční polohy
2. Kamerový vozík se začíná pohybovat směrem k počátku, dokud nestiskne spínací tlačítko
3. Nastavení pojezdového vozíku do počáteční polohy lineárního pohybu
4. Nastavení natočení kamery do počáteční polohy rotačního pohybu
5. Nastavení pojezdového vozíku do koncové polohy lineárního pohybu
6. Nastavení natočení kamery do koncové polohy rotačního pohybu
7. Kamerový pojezd i s kamerou se z koncové polohy přesouvá do počáteční polohy a tím zrekapituluje zadané příkazy, aby bylo možné zkontrolovat správnost nastavení
8. Nastavení rychlosti pohybu
9. Kamera se pohybuje podle nastavených parametrů

Z jednoho kroku na další se přechází stisknutím rotačního tlačítkového enkoderu a všechny parametry se definují otáčením tlačítkového enkoderu.

Jako řídicí jednotka byla využita platforma Arduino NANO, do které se přes USB kód vytvořeného programu nahrál z počítače. Tato platforma byla vybrána na základě délky kódu. Arduino NANO se od většího Arduina UNO liší pouze velikostí paměti pro program a počtem vstupních/výstupních pinů, jinak obě platformy jsou schopny pracovat ve stejném zapojení se stejným nahaným programem. Výhodou Arduina NANO je i jeho menší velikost, která je vítána.

Hlavním ovládacím prvkem je digitální tlačítkový rotační enkodér. Jedná se o provedení, které je užíváno u většiny 3D tiskáren.

Jako spínač pro stanovení počáteční polohy pojezdového vozíku je použit ENDSTOP, který se klasicky užívá v 3D tiskárnách.

Z této platformy jsou řízeny krokové motory, které zajišťují primární lineární pohyb a sekundární rotační pohyb kamery. To je však docíleno díky driverům, které pracují v kartézském souřadnicovém systému. Zprostředkovávají řídicí informace z Arduina krokovým motorům. Jedná se o drivery typu A4988. Tyto drivery sice nepatří k nejlepším variantám, protože jsou hlučnější a mohou se zahřívat, ale pro daný účel jsou dostačující a cenově nejvýhodnější.

Při výběru konkrétního typu krokového motoru je nutné uvážit potřebný moment k překonání odporových sil.

Pro návrh a výpočet momentu, který je potřebný k rozpohybování pojezdového vozíku jsou zahrnuty tyto parametry:

- Ložisko 608 2Z ČSN 02 4630 [19]
- Radiální síla: $F_R = 4,17 \text{ N}$
- Axiální síla: $F_A = 4,17 \text{ N}$
- Otáčky: $n = 1,7 \text{ min}^{-1}$
- Provozní teplota: $t = 20 \text{ °C}$

Výpočet potřebného momentu k rozpohybování pojezdového vozíku, viz. příloha 1.

Výsledná hodnota:

Moment potřebný k rozpohybování pojezdového vozíku: $M = 0,56 \text{ Nmm}$

Pro návrh a výpočet momentu, který je potřebný k rozpohybování otáčení kamery jsou zahrnuty tyto parametry:

- Ložisko 51 103 ČSN 02 4730 [20]
- Axiální síla: $F_A = 47,2 \text{ N}$
- Otáčky: $n = 0,025 \text{ min}^{-1}$
- Provozní teplota: $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Výpočet potřebného momentu k rozpohybování pojezdového vozíku, viz. příloha 1.

Výsledná hodnota:

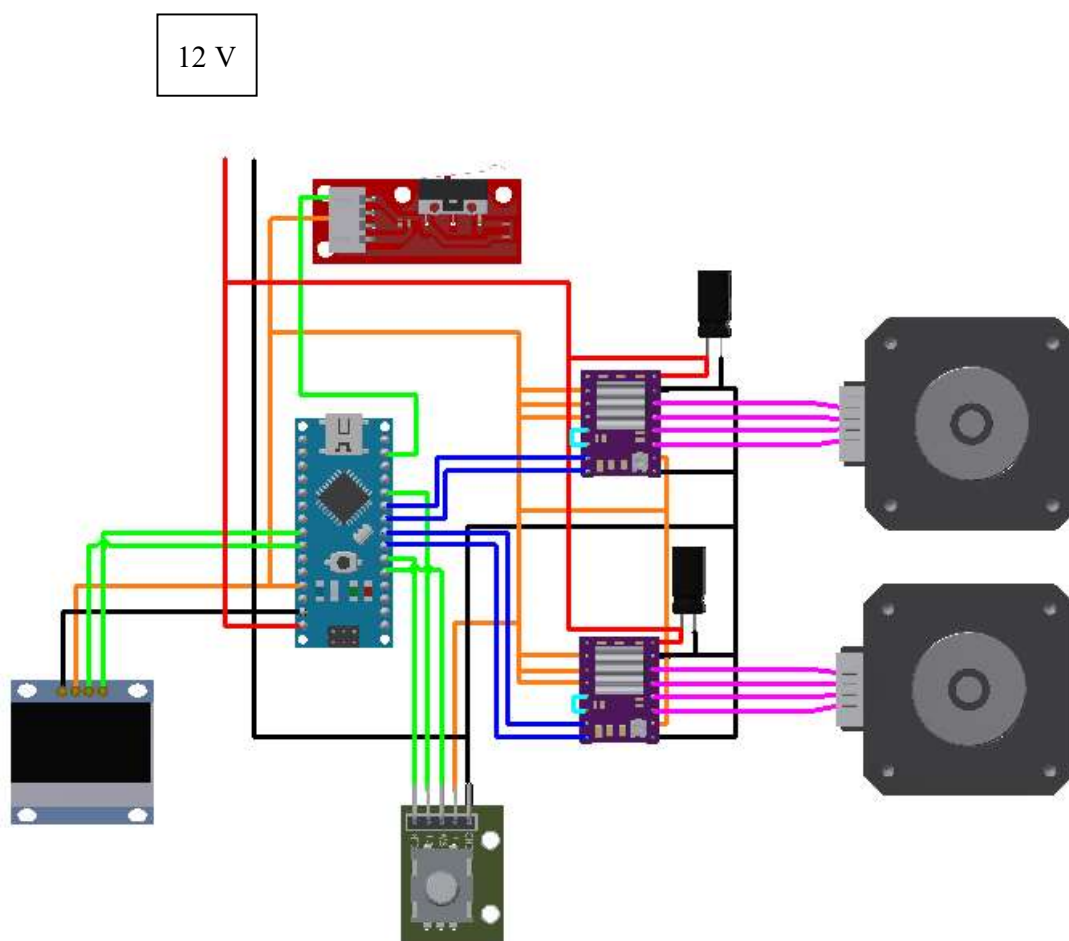
Moment potřebný k rozpohybování otáčení kamery: $M = 0,39 \text{ Nmm}$

Výsledný potřebný moment nabývá velmi nízké hodnoty. Výběr krokového motoru je tedy závislý především na dostupnosti a ceně. K pohybování pojezdovým vozíkem a k otáčení kamerou jsou zvoleny krokové motory od výrobce Creality typu JK42HS40-1704 s točivým momentem 400 Nmm. [21] Zvolený motor splňuje momentové požadavky.

O grafické rozhraní se stará displej I2C typu OLED o velikosti 0,96". Výhoda tohoto displeje spočívá v přehlednosti a v jeho úspornosti elektrické energie. Technologie OLED spočívá v tom, že jsou zapnuty pouze ty pixely, které zrovna vytváří grafické znázornění informací a ostatní jsou vypnuty. Konkrétně displej, využitý v této práci je rozdělen do dvou částí. První část je menší a informace znázorňuje žlutou barvou. Druhá část se nachází pod první částí, je větší a informace znázorňuje modrou barvou.

Seznam použitých komponent v zapojení, viz. Obr. 5-13:

- 1x Arduino NANO
- 1x Displej 0,96" I2C OLED
- 1x Ovládací rotační enkodér
- 2x A4988 driver pro krokové motory
- 2x Krokový motor Creality JK42HS40-1704
- 1x Mechanický endstop pro 3D tiskárnu
- 2x Kondenzátor 47 μF



Obr. 5-13 Schéma zapojení elektroniky zařízení

Celá elektronická část zařízení je napájena 12 V zdrojem. Těchto dvanáct voltů napájí drivery s krokovými motory a Arduino, ve kterém je změněno napětí na 5 V, kterými jsou napájeny zbývající komponenty.

6 DISKUZE

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout automatizovaný kamerový pojezd o minimální délce 1 m, který je určen k výrobě pomocí 3D tisku a je řízen z platformy Arduino. Zařízení muselo být schopno regulace rychlosti pohybu.

Správné zvolení profilu a materiálu kolejnice lineárního vedení bylo zkontrolováno vůči mezímu stavu pružnosti a výpočtem maximálního průhybu pod vahou kamery s pojezdovým vozíkem. Dále byly provedeny výpočty statické únosnosti axiálního ložiska, které neslo kameru a statické únosnosti ložisek, které se pohybují po kolejnici a nesou váhu celého vozíku i s kamerou. Byl proveden výpočet potřebného momentu pro překonání odporových sil, který musí krokový motor vyvinout. Tyto odporové síly jsou definovány statickým koeficientem tření v ložiscích a hmotností, která ložiska zatěžuje.

Navržené zařízení má hmotnost 4,62 kilogramu. Hmotnost ale není pevná, protože existuje možnost zaměnit délku hliníkových profilů. Hmotnost všech částí bez hliníkových profilů je tedy 2,770 kilogramu. V porovnání s ostatními elektricky poháněnými pojedy na trhu, se hmotnost pohybuje na podobné úrovni

Cena za samotný materiál a elektronické komponenty je 2600 Kč. Po započítání nákladů na výrobu 3D tiskem, se výsledná cena pohybuje ve výši 3100 Kč. Tyto náklady nelze úplně přesně určit, protože se nejedná o sériovou výrobu. Vychází tedy z hypotetického předpokladu, že tiskárna v hodnotě 6000 Kč má životnost 6000 h a každý rok se kvůli kvalitě tisku mění za novou. Cena je tedy nastavená tak, aby samotná tiskárna vydělala na novou, to je 1 hodina tisku = 1 Kč. Dále je nutné započítat cenu elektrické energie, která vychází na 1 hodina tisku = 2 Kč. Celkový tiskový čas všech dílů činí 158 hodin. Po započítání ceny za práci na modelu, za skládání a pájení je celková cena rovna 4574 Kč, viz. Tab. 3-1, a to je poloviční cena vůči ostatním motorizovaným kamerovým pojezdům, které jsou dnes na trhu a pohybují se v cenové relaci od deseti tisíc a výš. Dostupné kamerové pojedy mohou dosahovat vyšších kvalit, ale pro tvorbu na amatérské úrovni je zařízení více než dostačující a cenově přijatelnější.

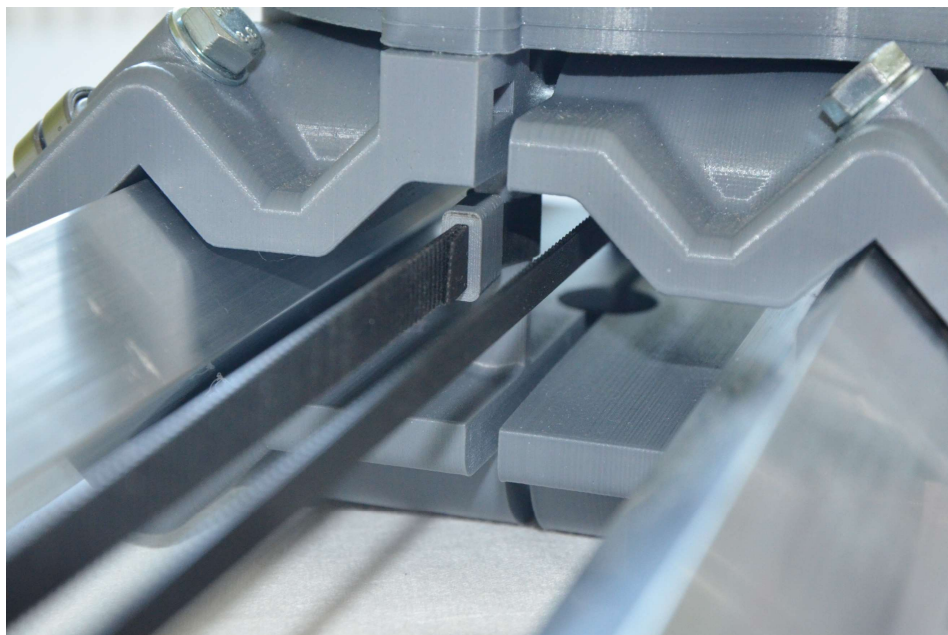
Tab. 6-1 Cena za materiál, 3D Tisk a výrobu

	Cena Kč
Materiál	2 600
3D Tisk	474
Výroba	1500



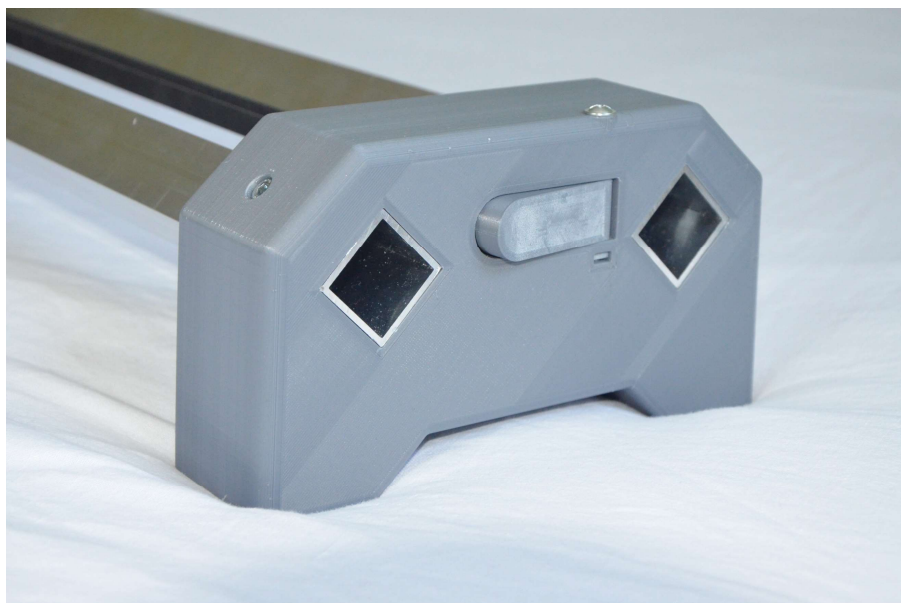
Obr. 6-1 Funkční prototyp

Po testování výrobku byly nalezeny konstrukční uzly, které by po vylepšení vedly ke zpevnění konstrukce, zlepšení mobility a zjednodušení skládání. Jedná se o způsob připevnění řemene k pojezdovému vozíku. Tento způsob omezuje možnost připevnění rozpěry mezi hliníkové profily. S přidělanou rozpěrrou by se zvýšila pevnost konstrukce při zatížení shora.



Obr. 6-2 Připojení řemene

Další vylepšení se týká způsobu uchycení hliníkových profilů do nosných dílů. Šroub by byl nahrazen závitovou tyčí, z jedné strany by byla našroubována pojistná matice a zvenčí upínák, jako je na jízdním kole pro přitažení kola k rámu. Díra v profilu by byla nahrazena drážkou od místa utažení až do konce profilu. Kolejnice by se tedy montovala vsunutím do nosného dílu a následným upnutím. Aby při takovém rozkládání nedošlo ke ztrátě správného nastavení pojezdového vozíku, byly by nasazeny rozpěrné gumové kroužky na šroubech uprostřed mezi polovinami vozíku. Ovšem nutnost upnutí řemenu by zůstala.



Obr. 6-3 Nosný díl s napínacím mechanismem



Obr. 6-4 Nosný díl se zakomponovaným krokovým motorem

S tak vysokými bezpečnostmi může konstrukce působit jako předimenzovaná, nicméně některé zvolené konstrukční prvky nesou i jinou funkci, než pro kterou jsou primárně navrženy. Například ložiska, která tvoří část lineárního vedení jsou navržena na mnohem větší zatížení, ale jejich rozměr je klíčový při navrhování samotného pojezdového vozíku, kdy namáhané části plastových dílů musí mít určitou tloušťku, od které se rozměr ložisek odvíjí. To stejné platí pro axiální ložisko, které musí mít dostatečný vnější průměr pro to, aby nedošlo k případnému vychýlení osy otáčení.



Obr. 6-5 Kontrola funkčnosti s kamerou

Pro otestování funkčnosti byl zvolen na místo kamery zrcadlový fotoaparát o hmotnosti 1 kg, který tuto pozici bez problému zastane. Únosnost 3 kg byla navržena pro profesionální videokamery. Fotoaparát je upevněn na kulovém kloubu s držákem na kameru. Tento kloub má nosnost 2,5 kg, ale díky způsobu uchycení na osu otáčení je možné držák vyměnit, aniž by došlo ke změnám v konstrukci kamerového pojezdu, takže bude vyměněn po nalezení vhodné komponenty.

7 ZÁVĚR

V závěrečné bakalářské práci byla provedena rešerše kamerových pojezdů, které jsou aktuálně na trhu. Na základě těchto analyzovaných informací byla navržena dvě koncepční řešení, ze kterých bylo vybráno to nejvhodnější. Vybraná koncepční varianta byla následně konstrukčně zpracována. Byly určeny kritické oblasti konstrukce a následně vypočítány bezpečnosti v těchto oblastech. Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti (30,36) a maximální průhyb lineárního vedení (0,796 mm), bezpečnost statické únosnosti radiálních ložisek (298), bezpečnost statické únosnosti axiálního ložiska (451). Dále bylo nutné určit potřebný moment k rozpohybování pojezdového vozíku (0,56 Nmm) a potřebný moment k rozpohybování k rozpohybování otáčení kamery (0,39 Nmm).

Na základě těchto návrhů byla zhotovena výkresová dokumentace všech dílů. Návrhové modely určené pro tisk byly převedeny do patřičného formátu a následně vytištěny. Podle výkresové dokumentace byly hliníkové profily obrobena.

Navržená a vyrobená konstrukce slouží k natáčení časosběrných záběrů nebo jiným snímkům, kde je zapotřebí konstantního pohybování kamerou se zaměřením na objekt nebo bez něj. Dále je konstrukce schopna bezpečně nést kameru o hmotnosti 3 Kg. Sestrojená konstrukce má funkční délku pojezdu 1210 mm. Navržené zařízení tedy splňuje zadání bakalářské práce. Software, který řídí konstrukci není závislý na jeho délce, takže je případně možné délku lineárního vedení zkrátit nebo prodloužit podle požadavků zákazníka.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Slingshot 3-Axis Cable Cam. *Syrp* [online]. Auckland [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://syrp.co/be-en/slingshot-3-axis-cable-cam-epic-kit-50m-pb202000012/>
- [2] Tabletop Rolling Slider Auto Dolly Car with Remote Control Motorized. *Ebay* [online]. Shenzhen [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.ebay.ie/itm/Tabletop-Rolling-Slider-Auto-Dolly-Car-with-Remote-Control-Motorized-/202403738764>
- [3] GVM GP-80FW Carbon Fiber Camera Slider with Flywheel (33"). *BHPhotovideo* [online]. New York City [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.bhphotovideo.com/c/product/1514487-REG/gvm_gp_80fw_flywheel_professional_video.html
- [4] Motorizovaný slider FILM-TECHNIKA (100 cm). *FILM-TECHNIKA* [online]. Praha [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.film-technika.com/ostatni-vyrobci/motorizovany-slider-film-technika--100-cm-/>
- [5] Sevenoak Time-Lapse Slider. *BHPhotovideo* [online]. New York City [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.bhphotovideo.com/c/product/1404825-REG/sevenoak_sk_mts100_time_lapse_slider.html
- [6] Slovníček terminologie lineárních vedení. *E-konstrukter* [online]. 2016 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/slovnicek-terminologie-linearnich-vedeni>
- [7] WOOD, Dennis a Tyler J. F. BRAGNALO. *Camera slider with flywheel and rails having indexing surfaces*. 2018. United States. US20190137851A1. Uděleno 2017-08-09. Zapsáno 2018-08-09.
- [8] Konova Slider K5. *FILM-TECHNIKA* [online]. Praha [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.film-technika.com/slidity/konova-slider-k5-120cm/>
- [9] Kamerový slider EasyGo. *FILM-TECHNIKA* [online]. Praha [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.film-technika.com/ostatni-vyrobci/kamerovy-slider-easygo-60cm/>

- [10] GVM GP-120QD Motorized Carbon Fiber Video Slider. *BHPhotovideo* [online]. New York City [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.bhphotovideo.com/c/product/1484249-REG/gvm_gvm_gp_120qd_motorized_video_slider.html
- [11] Motorizovaná jednotka KMS-S2 pro Konova slidery. *FILM-TECHNIKA* [online]. Praha [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.film-technika.com/konova/motorizovana-jednotka-pro-konova-slidery/>
- [12] IFOOTAGE SHARK SLIDER KIT W/ SOFT BACKPACK. *Cvp* [online]. Londýn [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://cvp.com/product/ifootage_if-ssmini-complete_shark_slider_kit_soft
- [13] KESSLER, Eric, Richard EGGINK a Kevin MOTT. *Panning slider*. 2014. United States. US8967889B2. Uděleno 26. 4. 2013. Zapsáno 4. 4. 2014.
- [14] Remote-control Pan/Tilt Heads. *Camtraptions* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.camtraptions.com/rc-pan-tilt-head/>
- [15] EPSILON84. OpenSlider. *Thingiverse* [online]. 2019 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:3538714>
- [16] ADAFRUIT. DIY Camera Slider. *Thingiverse* [online]. 2014 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:387208>
- [17] CYBORG_GUY. Slider. *Thingiverse* [online]. 2016 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:1575458>
- [18] CHAPPEL, Alexandre. 3d Printing a \$10,000 Camera Arm. *Youtube* [online]. 2020 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://youtu.be/V9e9ZWfICQU>
- [19] Ložisko 608 2ZR KINEX. *Elotechnik* [online]. Žamberk [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/lozisko-608-2zr-kinex.html>
- [20] Ložisko 51103 KINEX. *Elotechnik* [online]. Žamberk [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/lozisko-51103-kinex.html#zalozka-2>

- [21] Jk42hs40-1704 NEMA 17 3D Printer Stepper Motor, 42mm Reprap Motor. *Jkongmotor* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: https://jkongmotor.en.made-in-china.com/product/pvdJZFXCiRks/China-Jk42hs40-1704-NEMA-17-3D-Printer-Stepper-Motor-42mm-Reprap-Motor.html?fbclid=IwAR2LZlVq1o2fnPfwkUjJIr9GS1clXuAWnS3cm2b39HJpyl_i-cjpqlyfr54
- [22] Nest 120cm carbon rail slider with flywheel couterweight. *Protog* [online]. Mitcham [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.protog.com.au/nest-120cm-carbon-rail-slider-with-flywheel-couter/NS120>
- [23] CARBON FIBER CAMERA SLIDER. *Ikancorp* [online]. Houston [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://ikancorp.com/shop/camera-support/ikan-sld-31-carbon-fiber-camera-slider-31-inch-79-cm/>
- [24] Pojezdové kolečko pro 3D tiskárny Creality Ender. *Levna3dtiskarna* [online]. Říčany u Prahy [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.levna3dtiskarna.cz/pojezdove-kolecko-do-v-slotu/>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

9.1 Použité symboly

a [mm]	vnější hrana hliníkového čtvercového profilu
a_1 [mm]	vnitřní hrana hliníkového čtvercového profilu
E [MPa]	Youngův modul pružnosti hliníku
F [N]	síla působená hmotností kamery s vozíkem
F_{1L} [N]	síla působící na jedno radiální ložisko
F_A, F_B [N]	reakční síly
F_{AX} [N]	axiální síla působící na radiální ložisko
F_p [N]	síla působící na jeden profil
F_R [N]	radiální síla působící na radiální ložisko
g [$m \cdot s^{-2}$]	gravitační zrychlení
J_y [mm^4]	kvadratický moment vůči ose y
K_K [-]	součinitel bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti
L [mm]	vzdálenost mezi podporami pod lineárním vedením
L_F [mm]	funkční délka pojezdu
m [kg]	celková hmotnost kamery a pojezdového vozíku
M_1 [Nmm]	moment potřebný k rozpohybování jednoho radiálního ložiska
M_{c1} [Nmm]	moment potřebný k rozpohybování pojezdového vozíku
M_{c2} [Nmm]	moment potřebný k rozpohybování otáčení kamery
M_{o1}, M_{o2}, M_{o3} [Nmm]	ohybové momenty na lineárním vedení
$M_{o4}, M_{o,max}$ [Nmm]	ohybové momenty na lineárním vedení
n [min^{-1}]	otáčky za minutu

$N [-]$	počet otáček radiálního ložiska
$O_L [mm]$	obvod radiálního ložiska
$r [mm]$	poloměr radiálního ložiska
$S_0 [-]$	součinitel bezpečnosti statické únosnosti
$t [^{\circ}C]$	teplota
$T [s]$	čas
$W_i [mm]$	maximální průhy
$z_{max} [mm]$	souřadnice průřezu hliníkového profil
$\sigma_K [MPa]$	mez kluzu hliníku
$\sigma [MPa]$	působené napětí na lineární vedení

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Schéma rozdělení techniky umožňující lineární pohyb	14
Obr. 2-2 Příklad závěsného kamerového systému [1]	15
Obr. 2-3 Příklad motorizovaného vozítka [2].....	15
Obr. 2-4 Příklad manuálního kamerového pojezdu [22].....	16
Obr. 2-5 Příklad automaticky řízeného kamerového pojezdu [5].....	17
Obr. 2-6 Příklad vnějšího lineárního vedení kamerového pojezdu [23].....	19
Obr. 2-7 Příklad pojezdového kolečka [24]	19
Obr. 2-8 Příklad vnitřního lineárního vedení kamerového pojezdu [8].....	20
Obr. 2-9 Příklad kamerového pojezdu s vnitřním lineárním vedením [9]	20
Obr. 2-10 Příklad ukotvení obou konců řemene k pojezdovému vozíku [10].....	22
Obr. 2-11 Příklad ukotvení konců řemene k nosným koncům lineárního vedení [11]	22
Obr. 2-12 Příklad kamerového pojezdu s užitím ozubeného hřebene [12]	23
Obr. 2-13 Příklad mechanismu umožňujícího otáčení kamerou [13]	24
Obr. 2-14 Příklad elektrického zařízení, které je schopno pohybovat kamerou ve dvou osách [14]	24
Obr. 2-15 Příklad domácí výroby [15]	25
Obr. 2-16 Příklad domácí výroby [16]	26
Obr. 2-18 Příklad domácí výroby [17]	27
Obr. 4-1 Koncepční varianta 1	30
Obr. 4-2 Způsob uložení pojezdového vozíku 1. varianty	31
Obr. 4-3 Detailní pohledy se zaměřením na vybrané konstrukční uzly 1. varianty	31
Obr. 4-4 Způsob uložení pojezdového vozíku 2. varianty	33
Obr. 4-5 Detailní pohledy se zaměřením na vybrané konstrukční uzly 2. varianty	34
Obr. 5-1 Rozdělení vybrané varianty kamerového pojezdu na základní části.....	36
Obr. 5-2 Připevnění krokového motoru.....	37
Obr. 5-3 Zakrytování koncového spínače	37
Obr. 5-4 Vedení kabeláže koncového spínače.....	38
Obr. 5-5 Mechanismus na napínání řemene	38

Obr. 5-6 Způsob napínání řemene	38
Obr. 5-7 Postup připevnění hliníkových profilů k nosnému dílu	40
Obr. 5-8 Způsob uložení ložisek lineárního vedení	42
Obr. 5-9 Způsob spojení polovin pojezdového vozíku lineárního vedení	42
Obr. 5-10 Způsob uchycení hlavního řemene k pojezdovému vozíku	43
Obr. 5-11 Způsob uložení osy otáčení kamery	45
Obr. 5-12 Řemenový přenos pohybu na osu otáčení kamery	45
Obr. 5-13 Schéma zapojení elektroniky zařízení	49
Obr. 6-1 Funkční prototyp	51
Obr. 6-2 Připojení řemene.....	51
Obr. 6-3 Nosný díl s napínacím mechanismem.....	52
Obr. 6-4 Nosný díl se zakomponovaným krokovým motorem	52
Obr. 6-5 Kontrola funkčnosti s kamerou	53

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1	Cena za materiál, 3D Tisk a výrobu	50
----------	--	----

12 SEZNAM PŘÍLOH

Výpočty

Kód programu – Arduino

Výkresová dokumentace

NOSNÝ_DÍL_1

NOSNÝ_DÍL_2

VOZÍK_1

VOZÍK_2

STOLEK

NAPÍNÁK_ŘEMENE

ČEP

TLAČÍTKO_ENDSTOPU

KRYT_ENDSTOPU

STŘEDÍCÍ_VLOŽKA

KOLEJ_1

KOLEJ_2

DISTANČNÍ_KROUŽEK

KAMEROVÝ_POJEZD

KUSOVNÍK_1

KUSOVNÍK_2

KUSOVNÍK_3

Digitální data

Ukázkové video